شارح: الإنزيمات

في هذا الشارح، سوف نتعلَّم كيف نَصِف تأثير الإنزيمات على تحفيز التفاعلات الحيوية.

البروتينات هي جزيئات حيوية لها العديد من الأنواع المختلفة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن توجد البروتينات في جسم الإنسان على هيئة هرمونات تساعد في تنظيم العمليات الحيوية، أو أجزاء هيكلية مسئولة عن الحفاظ على التراكيب الخلوية في مكانها أو انقباض العضلات. وتُعد الإنزيمات الموجودة في أجسامنا أمثلة على البروتينات أيضًا.

تعريف: الإنزيم

الإنزيم هو عامل حفَّاز حيوي يعمل على زيادة سرعة معدل التفاعل دون أن يُستهلَك أثناء التفاعل.

وغالبًا ما سنرى أن الإنزيمات يُشار إليها على أنها عوامل حفَّازة حيوية. فهي حيوية؛ لأنها تتكون من مادة حيوية، أي البروتينات، ويشير المصطلح «عامل حفَّاز» إلى مادة تزيد من معدل التفاعل دون أن تُستهلَك أو أن تتغير بدرجة كبيرة أثناء التفاعل.

تعريف: العامل الحفَّاز

العامل الحفَّاز هو مادة تقلِّل من طاقة التنشيط اللازمة لحدوث التفاعل الكيميائي دون أن تُستهلَك أثناء التفاعل؛ ومن ثمَّ، فإن التفاعل الكلي يحدث بمعدل أسرع.

تُعد الإنزيمات ضرورية لإبقائنا على قيد الحياة؛ لأن الكثير من التفاعلات الأساسية التي تحدث داخل خلايا أجسامنا تكون بطيئة جدًّا لدرجة لا تسمح لها بأن تحدث من تلقاء نفسها. على سبيل المثال، إذا لم تعمل الإنزيمات المشاركة في عملية التنفس الخلوي بشكل صحيح، فلن يتكسر الجلوكوز لإنتاج الطاقة كما هو مُعتاد. وبانخفاض كمية الطاقة التي تحصل عليها خلايا أجسامنا، سنفتقر إلى القدرة على الحركة وهضم الطعام وفي النهاية القدرة على التنفس. لذا، يمكننا أن نقول باختصار إنه إذا لم تتواجد كثير من الإنزيمات في أجسامنا أو كانت لا تؤدي وظيفتها، فلن نتمكن من البقاء على قيد الحياة!

من الأمثلة على الخلل الذي يمكن أن يحدث في جسم الإنسان نتيجة غياب أحد الإنزيمات مرض الفينيل كيتون يوريا. ربما لاحظت تحذيرًا على إحدى عبوات الأطعمة التي تحتوي على المحلي الاصطناعي «الأسبارتام». ويرجع ذلك إلى أن الأسبارتام يتكون من الفينيل ألانين، والأشخاص المصابون بمرض الفينيل كيتون يوريا ليس لديهم الإنزيم الذي يُكسِّر هذا الحمض الأميني، ويتسبب ذلك في تراكمه في الجسم حتى يصل إلى مستويات سامة، وتحديدًا في المخ.

مثال ١: تعريف الإنزيم بوصفه عاملًا حفَّازًا

تعمل الإنزيمات عوامل حفَّازة. ما وظيفة العامل الحفَّاز؟

أ. العامل الحفَّاز يسرِّع معدَّل التفاعل.

ب. العامل الحفَّاز يزيد عدد المتفاعلات في التفاعل.

جـ. العامل الحفَّاز يحافظ على ثبات معدَّل التفاعل.

د. العامل الحفَّاز يضمن عدم انتهاء التفاعل.

هـ. العامل الحفَّاز يُبطِّئ معدَّل التفاعل.

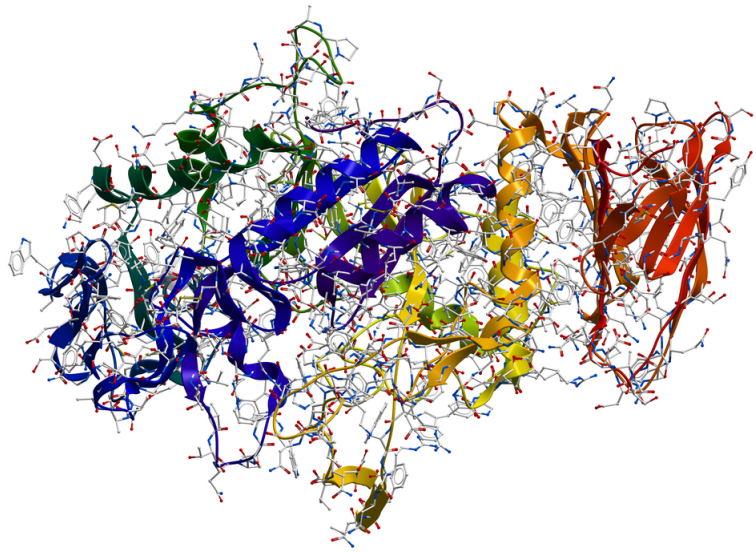
الحل

تُعد الإنزيمات أمثلة على البروتينات التي توجد في جسم الإنسان. وتلعب الإنزيمات دورًا مهمًّا للغاية في تنفيذ العديد من التفاعلات الحيوية داخل أجسامنا؛ بدون وجود هذه الإنزيمات، تحدث هذه التفاعلات بمعدل بطيء لدرجة تجعل أجسامنا تتوقف عن العمل بشكل طبيعي!

العامل الحفَّاز في الكيمياء هو مادة تزيد من معدل التفاعل دون أن تكون أحد المتفاعلات. ولأن الإنزيمات هي جزيئات حيوية تعمل على زيادة سرعة التفاعلات دون أن تُستهلَك أو تتغير أثناء العملية، فعادةً ما تُسمى الإنزيمات «العوامل الحفَّازة الحيوية».

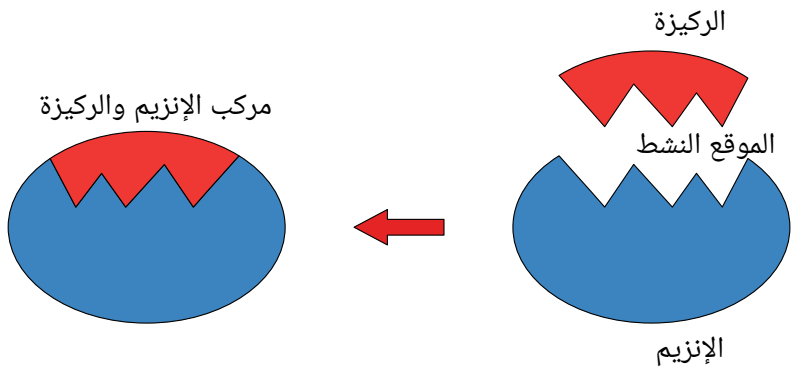
إذن، فإن الإجابة الصحيحة هي الخيار (أ): العامل الحفَّاز يسرِّع معدَّل التفاعل.

عادةً ما تكون الإنزيمات عبارة عن بروتينات كروية، أي «دائرية الشكل»، تتكون نتيجة تفاعل العديد من سلاسل عديد الببتيد. وللإنزيمات تراكيب مختلفة تتناسب مع وظيفتها. الألفا أميليز هو مثال على أحد الإنزيمات الموجودة في جسم الإنسان، ويوضح الشكل 1 صورة لتركيبه الجزيئي. نلاحظ أن تركيب هذا الإنزيم معقَّد إلى حد ما، وبه العديد من السلاسل المتفاعلة.



الشكل 1: صورة مصطنعة بواسطة الحاسوب توضح التركيب الجزيئي لإنزيم الألفا أميليز.
الألفا أميليز هو إنزيم يوجد في جسم الإنسان ويعمل على تكسير جزيئات الكربوهيدرات الكبيرة إلى جزيئات أصغر.

تحتوي الإنزيمات على منطقة محدَّدة داخل هذا التركيب تُسمى «الموقع النشط». تتفاعل الإنزيمات مع جزيئات أخرى تُسمى «الركائز»، والموقع النشط هو المكان الذي ترتبط فيه ركيزة (أو ركائز) الإنزيم. وكما هو موضح في الشكل 2، يتكيف شكل الموقع النشط ليتناسب مع شكل الركيزة، ويُسمى ذلك «التكامل». عادةً ما توجد المواقع النشطة في أخدود أو تجويف يتكون من التركيب الثلاثي الأبعاد (أو التشكيل الفراغي) للبروتين؛ بحيث توجد ركيزة معينة فقط يمكن أن تلائم هذا الموقع النشط. وتحتوي بعض الإنزيمات على عدة مواقع نشطة، تعمل على تحفيز تفاعلات مختلفة.



الشكل 2: شكل بسيط يوضح كيف يتكامل شكل الموقع النشط للإنزيم مع ركيزة محدَّدة، وكيف يكوِّن هذان الجزيئان معًا مركب الإنزيم والركيزة.

- **تعريف: الموقع النشط**

الموقع النشط هو المنطقة الموجودة على سطح جزيء الإنزيم، التي ترتبط بها ركيزة معيَّنة وتخضع لتفاعل كيميائي.

- **تعريف: الركيزة**

الركيزة هي الجزيء أو مجموعة الجزيئات التي لها شكل محدَّد ومتكامل مع موقع نشط لإنزيم ما.

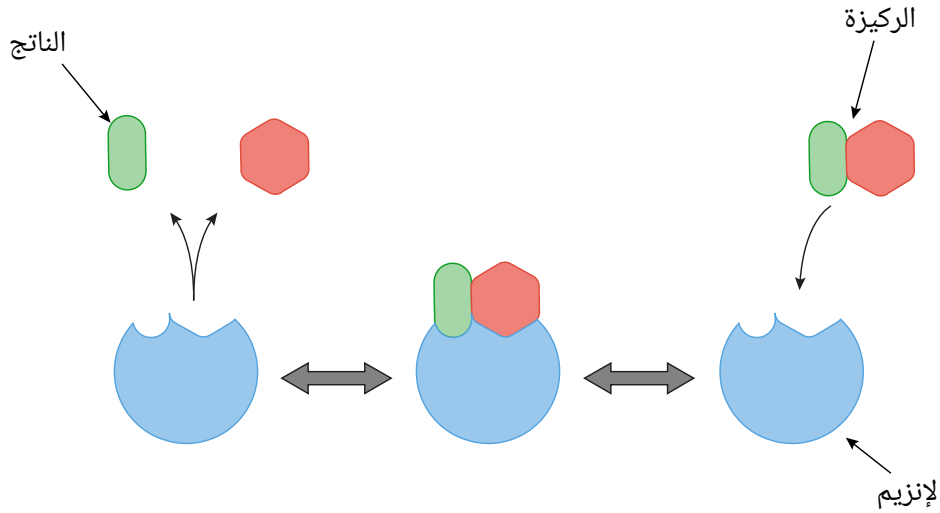
- **مصطلح رئيسي: التكامل**

تكامل شكل الموقع النشط للإنزيم مع شكل جزيء ركيزة معيَّنة يعني أن هذه الركيزة وحدها هي التي يمكن أن تلائم هذا الإنزيم ولذلك يحفِّز هذا الإنزيم تفاعلًا واحدًا محدَّدًا.

التكامل والتلائم بين الإنزيم وجزيئات الركائز المرتبطة به يعني أن الإنزيم لن يحفِّز إلا تفاعلًا كيميائيًا محددًا واحدًا. على سبيل المثال، يقوم إنزيم الأميليز (الموضح في الشكل 1) فقط بتحفيز عملية تكسير النشا وتحويله إلى السكريات المكوِّنة له. ولا يمكن لهذا الإنزيم تحفيز تكسير جزيئات أطعمة أخرى، مثل: البروتينات إلى أحماض أمينية أو الدهون إلى أحماض دهنية وجليسرول. يُسمى ذلك «تخصُّص الإنزيم».

تحفِّز بعض الإنزيمات التفاعلات الانعكاسية. ويعني هذا أن الإنزيم يمكنه أن يحفِّز التفاعل الذي يُكسِّر جزيئًا إلى مكوناته الأبسط، ثم يحفِّز التفاعل الذي يعيد تكوين الجزيء من هذه المكونات! تزيد هذه الإنزيمات من معدل التفاعل حتى يصل إلى حالة الاتزان (أي حتى تساوي كمية النواتج عدد الركائز).

يُعد إنزيم الكربونيك أنهيدريز أحد الأمثلة على الإنزيمات التي تحفِّز تفاعلًا انعكاسيًّا. عندما نتنفس، فإننا نستنشق الأكسجين، الذي يستخدم في عملية التنفس الخلوي في خلايا أجسامنا. فيتنج عن التنفس الخلوي ثاني أكسيد الكربون، وهو من الفضلات الناتجة والتي يجب أن يتخلص منها الجسم. يحوِّل إنزيم الكربونيك أنهيدريز أولًا ثاني أكسيد الكربون هذا إلى مادة تُسمى «حمض الكربونيك» و«أيونات البيكربونات»، وينقلهما الدم إلى الرئتين. وبمجرد وصول الدم إلى الرئتين، تتحول أيونات البيكربونات مرة أخرى إلى ثاني أكسيد الكربون، الذي يخرج عن طريق الزفير. يوضح الشكل 3 مخططًا بسيطًا للآلية التي يحفِّز بها إنزيم تفاعل إنعكاسي.

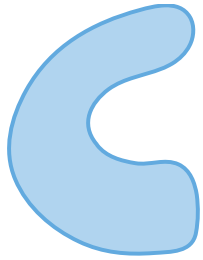


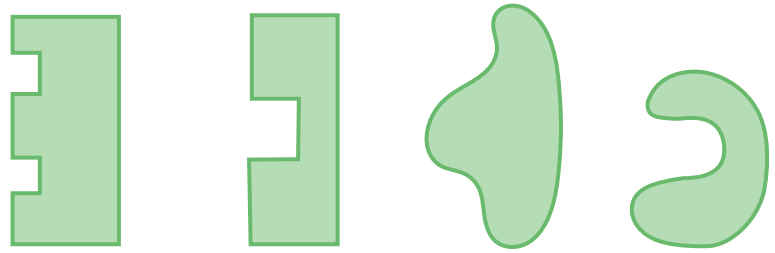
الشكل 3: شكل يوضح الطريقة التي يعمل بها أحد الإنزيمات على تكسير ركيزة إلى مكوناتها. بعض التفاعلات المحكومة بالإنزيمات يكون انعكاسيًّا، ويعمل على إعادة تكوين الركيزة.

مثال ٢: تحديد الإنزيمات والركائز التي تتكامل معها

يوضِّح الشكل الآتي إنزيمًا وبعض الركائز. ما الركيزة التي يرتبط بها الإنزيم؟

الإنزيم





(أ) (ب) (ج) (د)

الركائز

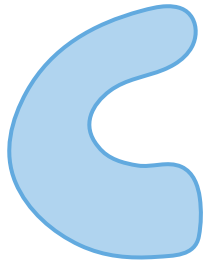
الحل

عادةً ما تكون الإنزيمات عبارة عن بروتينات كروية لها أشكال فريدة. تعمل الإنزيمات على أنها عوامل حفَّازة حيوية تزيد سرعة معدَّل التفاعلات الكيميائية. ولكي تفعل الإنزيمات ذلك، يجب أن ترتبط الإنزيمات بركيزة واحدة أو بركائز متعددة.

توجد على سطح أي إنزيم منطقة مميزة تُسمى «الموقع النشط»، وهي المنطقة التي يرتبط فيها الإنزيم بالركيزة (أو الركائز). يتكامل شكل الموقع النشط للإنزيم مع شكل الركيزة (أو الركائز). ويعني ذلك أن هذين الشكلين لن يكونا متطابقين، ولكن سيكمِّل أحدهما الآخر. ومن المفيد التفكير في ذلك باستخدام نموذج القفل والمفتاح؛ حيث لا يتطابق شكل المفتاح مع شكل القفل، وإنما يكون له شكل مكمِّل للقفل؛ ومن ثمَّ، نجد أن مفتاحًا معينًا فقط يتناسب تمامًا مع قفل محدَّد لفتح أحد الأبواب!

دعونا نلقِ نظرة على شكل الإنزيم الذي لدينا.

الإنزيم



نلاحظ أن الموقع النشط له شكل دائري؛ لذا سنبحث عن الركيزة التي يتناسب شكلها تمامًا مع هذا الموقع.

يتطابق شكل الركيزة (أ) مع شكل الإنزيم. ولعلنا نتذكر أن التلائم والتكامل لا يعني تطابق شكلَي الإنزيم والركيزة. لذا، سنستبعد الركيزة (أ).

تتكون الركيزتان (ج)، (د) من شكلين مستطيلين. لكننا نبحث عن شكل دائري يناسب الموقع النشط. لذا، سنستبعد أيضًا الركيزتين (ج)، (د).

الركيزة (ب) دائرية الشكل، ويبدو أنها تناسب الموقع النشط جيدًا. دعونا نضع الشكلين معًا للتحقق من ذلك.

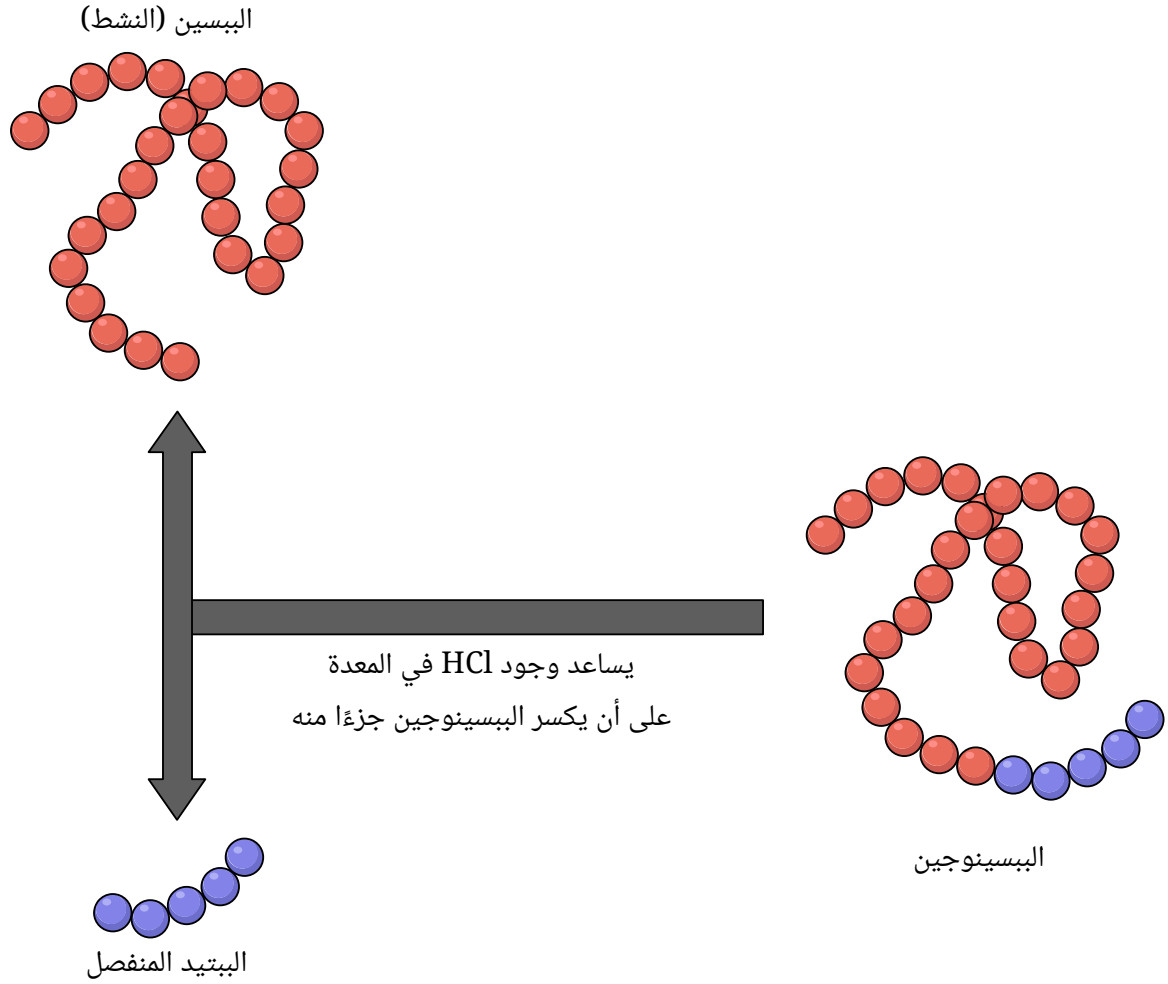
إذن، فإن الركيزة التي يرتبط بها الإنزيم هي الركيزة (ب).

لا توجد الإنزيمات دائمًا في حالة نشطة؛ حيث يوجد بعضها في صورة طلائع إنزيمات (تُسمى أحيانًا «مولدات الإنزيم»)، وتحتاج إلى وجود بعض المواد أو الظروف لتنشيطها. دعونا نتناول مثالًا على ذلك.

الببسين هو أحد إنزيمات هضم البروتينات (بروتييز)، ويوجد في معدة الإنسان. المعدة هي بيئة شديدة الحمضية، ويعني وجود حمض الهيدروكلوريك أن الرقم الهيدروجيني للعصارة الهضمية التي تفرزها المعدة يكون من 1.5 إلى 3.5!

لا تفرز خلايا المعدة إنزيم الببسين في صورته النشطة؛ لأن هذه الخلايا تحتاج الى منع الإنزيم من هضم البروتينات التي تحتوي عليها. لذا، بدلًا من ذلك، تفرز خلايا المعدة صورة غير نشطة من الإنزيم تُسمى «الببسينوجين». ويساعد وجود

HCl في المعدة على بدء تفاعل يتم من خلاله تحويل الببسينوجين إلى الببسين النشط. ويحدث ذلك عن طريق تحفيز الببسينوجين على كسر أو «فصل» جزء من تركيبه حتى ينشط. بذلك، يصبح الببسين جاهزًا الآن لتحفيز التفاعلات في المعدة، التي تُكسِّر البروتينات الموجودة في الطعام الذي نتناوله! يوضح الشكل 4 مخططًا بسيطًا لهذه العملية.



الشكل 4: شكل بسيط يوضح كيف يتكون الإنزيم النشط «الببسين» من طليعة الإنزيم غير النشطة «الببسينوجين».

مثال ٣: تذكُّر الظروف اللازمة لإنتاج إنزيم الببسين

الببسين هو إنزيم بروتييز يعمل على تكسير جزيئات البروتينات في المعدة. ويتكون الببسين من خلال تنشيط طليعته «الببسينوجين». ما الظروف اللازم تواجدها لإنتاج الببسين؟

أ. رقم هيدروجيني منخفض.

ب. درجة حرارة مرتفعة.

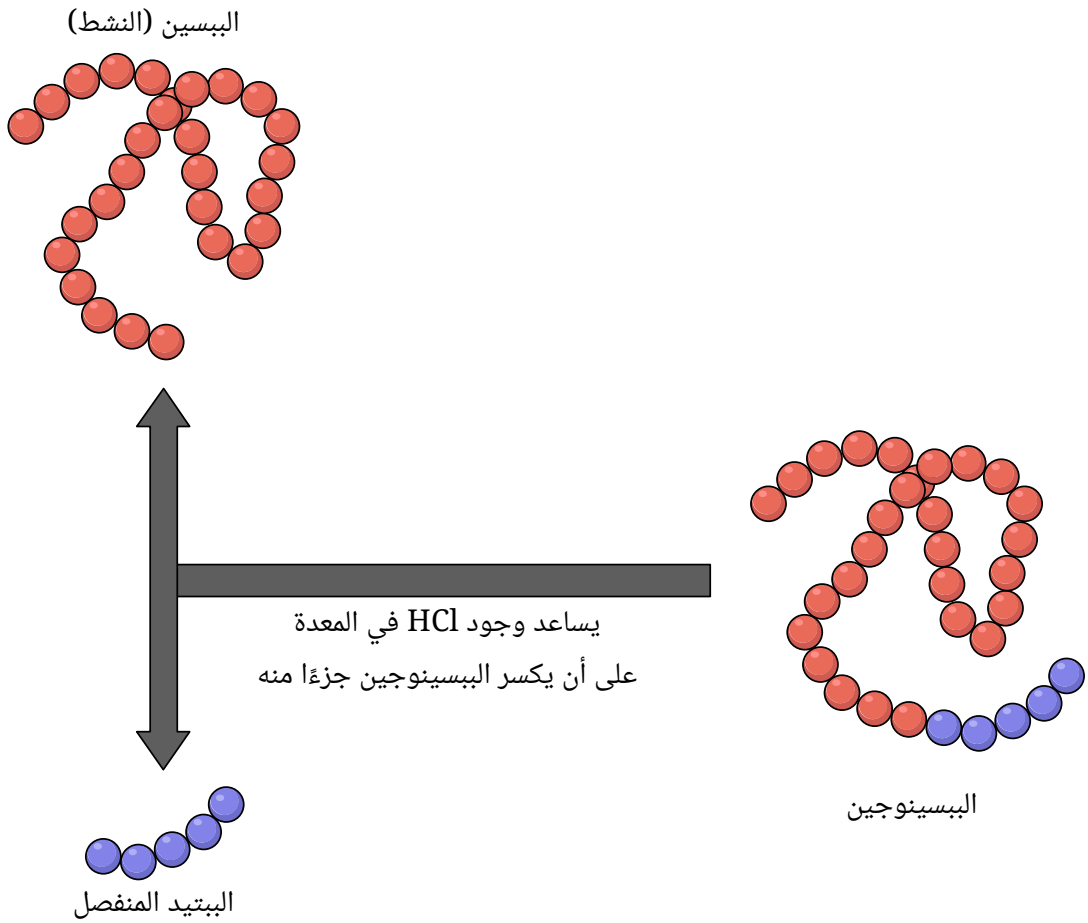
ج. نقص الأكسجين.

د. ارتفاع الملوحة.

الحل

عادةً ما تُسمى الإنزيمات «العوامل الحفَّازة الحيوية»؛ وذلك لأنها عبارة عن جزيئات حيوية تزيد من سرعة معدل التفاعلات الكيميائية دون أن تُستهلَك أو أن تتغير أثناء التفاعل. توجد إنزيمات كثيرة داخل جسم الإنسان في صورتها النشطة، لكن يجب تنشيط بعض الإنزيمات الأخرى من طليعة الإنزيم (تُسمى أحيانًا «مولد الإنزيم»). ويحدث هذا عادةً مع إنزيمات الهضم، التي تنتجها الخلايا في صورة طلائع غير نشطة لمنع هضم السكريات أو البروتينات الموجودة فيها. يُعد الببسين أحد الأمثلة على هذه الإنزيمات.

لتكوين الإنزيم النشط «الببسين»، يجب أن تخضع طليعة الإنزيم «الببسينوجين» إلى بعض التغيرات التركيبية. عندما يتعرض الببسينوجين إلى ظروف شديدة الحمضية في المعدة، «ينفصل» (أو ينكسر) جزء من الجزيء. ويساعد هذا الانفصال في تحويل الببسينوجين غير النشط إلى إنزيم الببسين النشط. يوضح الشكل الآتي مخططًا بسيطًا لتلخيص ذلك.



لمساعدتنا في الإجابة عن هذا السؤال، من المفيد أن نتذكر الظروف الطبيعية للمعدة. تفرز خلايا المعدة حمض المعدة، الذي يتكون في الأساس من حمض الهيدروكلوريك. يتميز حمض الهيدروكلوريك بأنه حمض قوي للغاية ينتج عنه انخفاض الرقم الهيدروجيني في المعدة بدرجة كبيرة إلى حوالي 3.5– 1.5. ولا يفيد إفراز هذا الحمض في تكسير جزيئات

الطعام فقط، وإنما يفيد أيضًا في العمل باعتباره آلية دفاعية ضد العدوى، ويفيد كذلك في تدمير مُسببات الأمراض التي يمكن أن تدخل المعدة.

دعونا نلقِ نظرة على خيارات الإجابة التي لدينا لتحديد الخيار الصحيح.

يشير ارتفاع الملوحة إلى وجود منطقة مالحة جدًّا، أو إلى الانخفاض الكبير في محتوى الماء بالنسبة إلى تركيز الأملاح فيها. لا ترتفع ملوحة المعدة كثيرًا عن الأجزاء الأخرى في جسم الإنسان، ولا تقل بها كمية الماء أيضًا بدرجة كبيرة مقارنة بالأجزاء الأخرى؛ لذا يمكننا استبعاد هذه الإجابة.

يمكن أن يتسبب ارتفاع درجة الحرارة ونقص الأكسجين في الإضرار بجسم الإنسان للغاية. تبلغ درجة حرارة الجسم الداخلية حوالي 37°C، وأي ارتفاع كبير فوق هذه الدرجة يمكن أن يؤدي في النهاية إلى حدوث تصدع في تركيب جزيئات الإنزيمات وطلائعها، بجانب آثار ضارة أخرى! يمنع نقص الأكسجين داخل الجسم الخلايا من إجراء عملية التنفُّس الهوائي؛ لذا علينا تجنب ذلك.

ولكن كما رأينا سابقًا، تنخفض قيمة الرقم الهيدروجيني في المعدة للغاية بسبب وجود حمض الهيدروكلوريك؛ ويتسبب انخفاض قيمة الرقم الهيدروجيني في تحفيز تحويل الببسينوجين إلى الببسين.

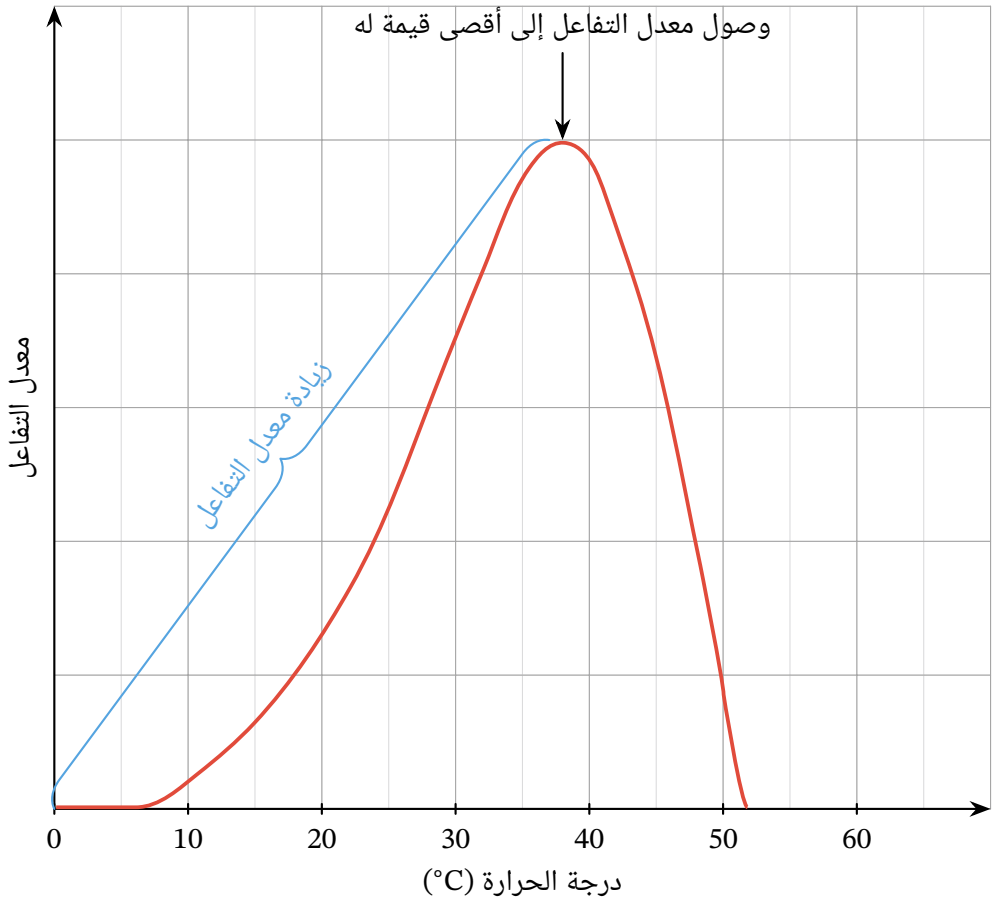
إذن، فإن خيار الإجابة الصحيحة هو (أ): انخفاض الرقم الهيدروجيني.

ماذا عن الظروف الأخرى التي يمكن أن تؤثر على وظيفة الإنزيمات؟

لكي تتفاعل الإنزيمات مع الركائز المتكاملة معها، يجب أن يصطدم بعضها ببعض. ويعني هذا أنه يجب أن تلتقي أجسام كل من الإنزيمات والركائز بطريقة ما تسمح للركيزة بالارتباط بالموقع النشط للإنزيم بنجاح.

إذا زدنا كمية طاقة الحركة، أي الطاقة المرتبطة بالحركة، لجزيئات الإنزيمات والركائز، فستزداد احتمالية اصطدام الإنزيمات بالركائز. يمكن تحويل الطاقة من صورة إلى أخرى؛ لذا إذا رفعنا درجة الحرارة التي يحدث عندها التفاعل، فيمكن تحويل الطاقة الحرارية هذه إلى طاقة حركة.

يعني ارتفاع درجة الحرارة بوجه عام زيادة سرعة معدل التفاعل بسبب زيادة طاقة حركة الجزيئات. ونلاحظ ذلك في التمثيل البياني الموضح في الشكل 5؛ حيث نرى أنه مع ارتفاع درجة الحرارة من صفر إلى حوالي 35°C- 37°C، يزداد معدل التفاعل أيضًا.



الشكل 5: تمثيل بياني يوضح كيف يزيد معدل تفاعل محكوم بالإنزيم مع ارتفاع درجة الحرارة حتى تصل إلى حوالي 37°C. وبعد ذلك، ينخفض معدل التفاعل بسرعة.

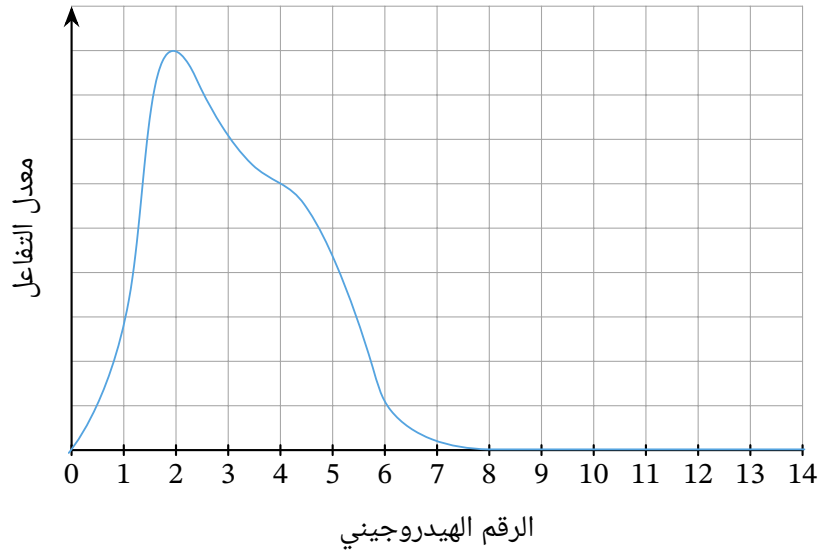
نلاحظ في الشكل 5 أن ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة معدل التفاعل حتى يصل إلى نقطة معينة. فإذا ارتفعت درجة الحرارة أكثر من اللازم، يمكن أن يتشوَّه الإنزيم. يحدث التشوُّه عندما تكون الظروف غير ملائمة لإنزيم ما؛ فيتغير تركيب البروتينات، وغالبًا ما يكون هذا التغير غير انعكاسي.

يعني هذا أن شكل الموقع النشط قد تغير. وفي حالة حدوث ذلك، لا يمكن أن ترتبط الركيزة المتكاملة بالإنزيم؛ ومن ثمَّ، فلا يمكن أن يستمر التفاعل الذي يحفزه الإنزيم.

تعريف: التشوُّه

يحدث التشوُّه عندما يتغير شكل الموقع النشط لإنزيم ما، لدرجة أنه لم يَعُد متكاملًا مع شكل جزيء الركيزة الخاصة به.

نلاحظ اتجاهًا مشابهًا عند مقارنة معدل التفاعلات التي يتحكم فيها الإنزيم بالرقم الهيدروجيني. للإنزيمات رقم هيدروجيني أمثل أو مدى مثالي للرقم الهيدروجيني، وهو الرقم الهيدروجيني (أو الأرقام الهيدروجينية) الذي تعمل عنده الإنزيمات على أفضل وجه. يوضح الشكل 6 كيف يتغير معدل تفاعل محكوم بالإنزيم بتغير الرقم الهيدروجيني.

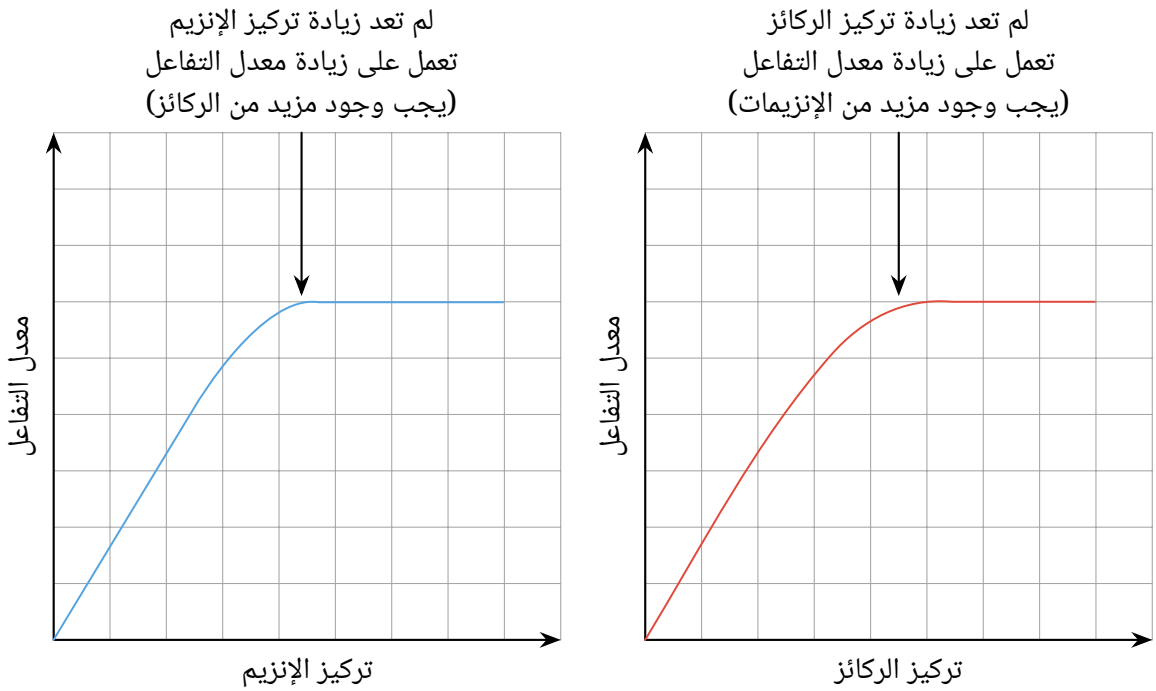


الشكل 6: تمثيل بياني يوضح كيف يتغير معدل تفاعل محكوم بالإنزيم بتغير الرقم الهيدروجيني.

نرى في الشكل 6 أن معدل التفاعل يصل إلى أقصى قيمة له عندما يساوي الرقم الهيدروجيني 2 تقريبًا. ويشير ذلك إلى أن هذا الإنزيم يعمل على أفضل وجه في البيئات الحمضية. عندما تزيد قيمة الرقم الهيدروجيني؛ ومن ثمَّ، تصبح البيئة أكثر قلوية، يقل معدل التفاعل إلى حد كبير نتيجة لتشوُّه الإنزيم.

يمكن أيضًا أن يتأثر معدل التفاعلات المحكومة بالإنزيمات بتغير تركيز الركائز أو تركيز الإنزيم. فإذا زاد تركيز الإنزيمات في تفاعل، فإن هذا يعني وجود مزيد من المواقع النشطة التي يمكن أن ترتبط بها الركائز. وإذا زاد ارتباط الركائز بالإنزيمات، يتكون عدد أكبر من النواتج خلال فترة زمنية أقصر، وبذلك يزيد معدل التفاعل. يمكن أن يحدث ذلك حتى نقطة محدَّدة. لكن في النهاية، ستكون الركائز كلها قد استُهلِكت. ولاستمرار زيادة معدل التفاعل بعد هذه النقطة، يجب إضافة مزيد من الركائز. ينطبق الأمر نفسه على زيادة تركيز الركائز؛ حيث سوف تمتلئ جميع المواقع النشطة في النهاية، وبذلك تكون الطريقة الوحيدة لزيادة معدل التفاعل هي وجود مزيد من الإنزيمات.

يوضح الشكل 7 كيف يؤدي وجود مزيد من الإنزيمات أو الركائز إلى زيادة معدل التفاعل في البداية، لكننا سنحتاج في النهاية إلى تغيير أحد العوامل.



الشكل 7: تمثيلان بيانيان يوضحان تأثير زيادة تركيز الإنزيمات والركائز على معدل تفاعل محكوم بالإنزيم.

مثال ٤: تطبيق معرفتنا بالتفاعلات المحكومة بالإنزيمات على تجربة كمثال

يُجري أحد الطلاب تجربة لدراسة المعدل الذي يعمل عنده التربسين، وهو أحد الإنزيمات الموجودة في جسم الإنسان، على تكسير البروتينات الموجودة في كأس من الحليب. يُجري الطالب هذه التجربة عند 20°C، باستخدام محلول منظم للرقم الهيدروجيني، قيمة الرقم الهيدروجيني له 9.

أي تغيُّر في الظروف يمكنه زيادة سرعة معدل التفاعل؟

أ. زيادة الرقم الهيدروجيني إلى 14.

ب. انخفاض تركيز التربسين.

جـ. انخفاض كمية الضوء التي يتعرض لها التفاعل.

د. ارتفاع درجة الحرارة إلى 37°C.

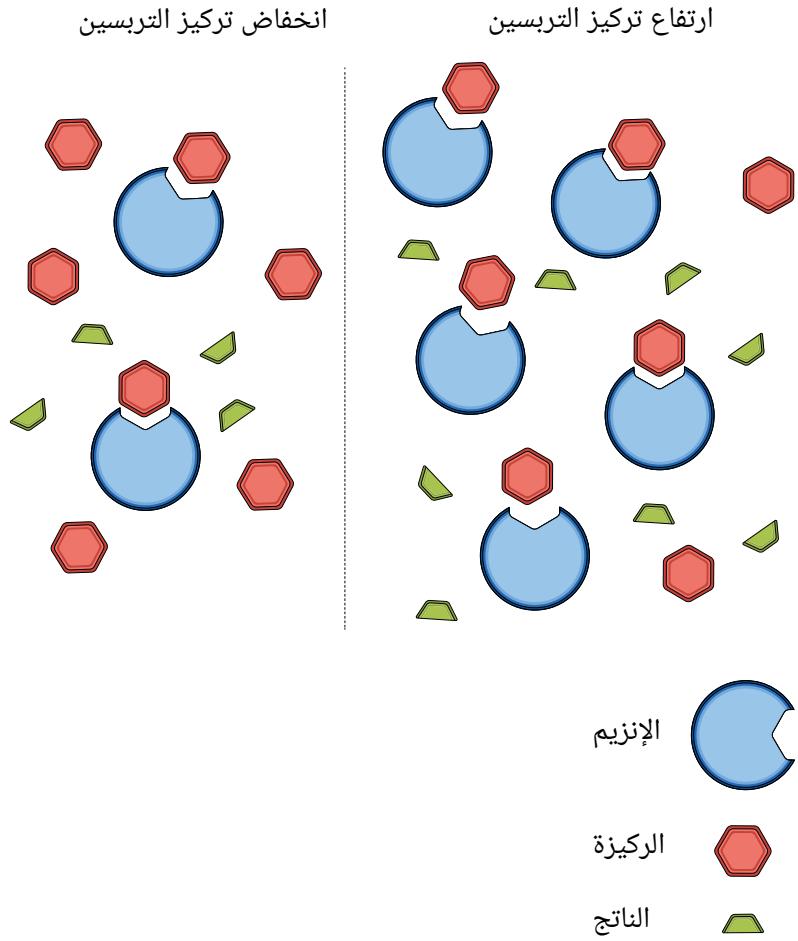
الحل

الإنزيمات هي عوامل حفَّازة حيوية تزيد من سرعة معدل التفاعلات الكيميائية دون أن تُستهلَك أثناء التفاعل. نحن نعلم من هذا السؤال أن التربسين يُكسِّر البروتينات الموجودة في الحليب، وأنه إنزيم يوجد بشكل طبيعي في جسم الإنسان. ومن المهم أيضًا ملاحظة ظرفَي التجربة في البداية، وهما الرقم الهيدروجيني 9 ودرجة الحرارة 20°C.

دعونا نلقِ نظرة على كل خيار من هذه الخيارات، واحد تلو الآخر؛ لتحديد إذا ما كان سيزيد من معدل التفاعل أم لا.

تمثل زيادة الرقم الهيدروجيني إلى 14 تغيُّرًا كبيرًا في الرقم الهيدروجيني. ويعتبر الرقم الهيدروجيني 14 هو أعلى رقم هيدروجيني على مقياس الرقم الهيدروجيني، وهو قلوي للغاية مقارنة بالرقم الهيدروجيني الحالي في التجربة (9). وبما أن الإنزيمات عبارة عن بروتينات؛ إذن فيمكن أن يؤدي حدوث تغير كبير في الرقم الهيدروجيني إلى حدوث خلل في تركيب الجزيئات وتغير شكلها بدرجة كبيرة، وهو ما يعني أنها لم تعد قادرة على العمل. لذا، لا يمكن أن يؤدي هذا التغير إلى زيادة معدل التفاعل، ويمكن في الحقيقة أن يتسبب في توقف التفاعل تمامًا.

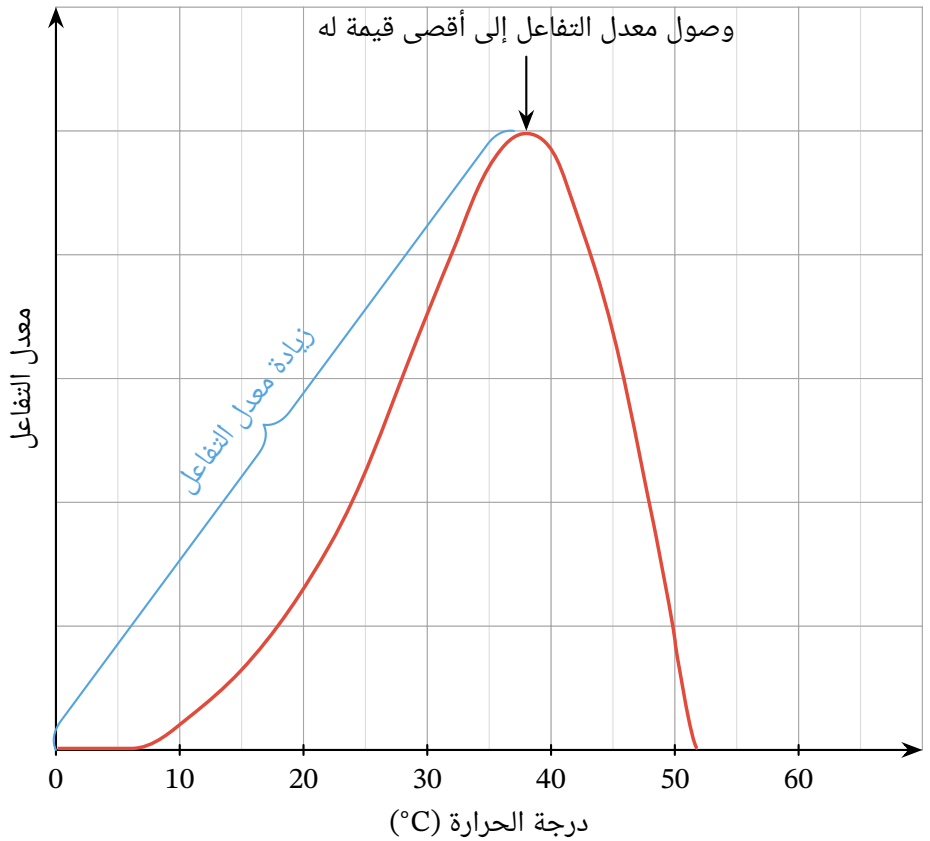
يمكن أن يؤدي انخفاض كمية التربسين إلى انخفاض معدل التفاعل. فإذا قَلَّ عدد إنزيمات التربسين، فسيقل أيضًا عدد البروتينات التي يتم تكسيرها. وتساعدنا الصورة الآتية في توضيح ذلك.



عند ارتفاع تركيز التربسين، يمكن أن يرتبط عدد أكبر من الركائز بالإنزيمات؛ ومن ثمَّ، تتكسر إلى نواتجها، وهو ما يزيد من معدل التفاعل. أما عند انخفاض تركيز التربسين، يقل عدد المواقع النشطة المتاحة لترتبط بها الركائز. وعليه، يتكون عدد أقل من النواتج وتقل سرعة معدل التفاعل.

نحن نعلم أن إنزيم التربسين يكون نشطًا في جسم الإنسان. ولا تتعرض الأعضاء والأنسجة الداخلية في جسم الإنسان إلى الضوء؛ لذا فإن تقليل تعرض هذا التفاعل إلى الضوء لن يؤثر بشكل كبير على معدل التفاعل.

درجة حرارة الجسم الداخلية للإنسان هي حوالي 37°C. لذا، إذا ارتفعت درجة حرارة التفاعل الموضح في السؤال من 20°C إلى 37°C، فمن المتوقع أن نرى زيادة في معدل التفاعل. هذا لأنه كلما ارتفعت درجة حرارة تفاعل محكوم بالإنزيم، زادت طاقة حركة كلٍّ من الإنزيمات والركائز. وإذا زادت طاقة حركة هذه الجزيئات، زادت احتمالية اصطدام بعضها ببعضٍ وارتباطها معًا. يعني هذا أنه يمكن حدوث مزيد من التفاعلات خلال فترة زمنية محدَّدة، وتكوين عدد أكبر من النواتج. دعونا نُلقِ نظرة الآن على تمثيل بياني يوضح ذلك.



مع ارتفاع درجة الحرارة من 0°C إلى حوالي 37°C، نلاحظ أن معدل التفاعل يزداد أيضًا. وتحدث هذه الزيادة حتى نقطة معينة؛ حيث يمكن أن يؤدي الارتفاع الكبير في درجة الحرارة، الذي يشبه كثيرًا تأثير التغير الكبير في الرقم الهيدروجيني، إلى حدوث خلل في تركيب الإنزيم وتوقفه عن العمل.

ومن ثمَّ، نجد أن الإجابة الصحيحة هي الخيار (د): ارتفاع درجة الحرارة إلى 37°C يمكنه زيادة معدل هذا التفاعل.

دعونا نلخِّص الآن بعض النقاط الرئيسية التي تناولناها في هذا الشارح.

النقاط الرئيسية

- الإنزيمات هي أمثلة على البروتينات الكروية.
- الإنزيمات هي عوامل حفَّازة حيوية تزيد من سرعة معدل التفاعلات الكيميائية دون أن تُستهلَك أثناء التفاعل.
- لكل إنزيم موقع نشط له شكل محدَّد ومُتكامل مع ركيزة محدَّدة.
- يجب «تنشيط» بعض الإنزيمات. على سبيل المثال، يتكون إنزيم الببسين من خلال تنشيط طليعته «الببسينوجين»؛ نظرًا لوجود HCl في المعدة.
- ارتفاع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة سرعة معدل التفاعل المحكوم بالإنزيم حتى النقطة التي يتشوَّه عندها الإنزيم.
- يمكن أن يتأثر معدل التفاعلات المحكومة بالإنزيم أيضًا بالتغيرات التي قد تحدث في الرقم الهيدروجيني وتركيزات الركائز وتركيزات الإنزيم.